

废弃物焚烧装置中的防腐技术

(上海富晨化工有限公司 200233)

摘要：本文详细阐述了废弃物焚烧装置中的骤冷塔、洗涤器、烟囱等的腐蚀原理和防腐材料选择（尤其是热固性乙烯基树脂等材料）及其制造结构形式，这就为废弃物焚烧装置中的防腐蚀提供可靠的处理方案，包括树脂的选择和结构形式。

关键词：废弃物；乙烯基树脂；防腐蚀；骤冷塔；洗涤器；烟囱

1. 前言

改革开放以来，随着国民经济的高速发展、人口的不断增多以及人民生活水平的日益提高，废弃物对环境的污染已经成为日益严重的问题。如何经济、有效地进行废弃物处理已成为城市发展的一个不容忽视的问题。废弃物以生活垃圾和废水处理中生成的污泥为主，处理这些废弃物的方法主要有填埋和焚烧两种。填埋法投资小，但占地面积大而且容易造成二次污染，目前焚烧法被认为是处理废弃物最合适的方法。虽然垃圾焚烧（WI）和污泥焚烧（SI）的原理不完全相同，但在燃烧后烟气处理这一环节上基本相同，我们在此主要讨论废弃物焚烧后烟气处理中会遇到的一些问题。

焚烧法是目前国内外应用最普遍的废弃物处理方法，此方法的最大优点是废弃物资源化和减量化处理程度高。是使废弃物无害化、减容化、资源化最为有效的方法。焚烧法是将废弃物置于高温炉中，使其中可燃成分充分燃烧后，烟气经过处理达标再通过烟囱排放的一种方法。烟气处理的主要流程是烟气经过骤冷塔冷却后进入洗涤塔洗涤，达标后经过烟囱排放。因垃圾的成分复杂且含有大量的腐蚀性物质，一般的处理方法是采用湿法脱除有害气体，烟气中含有粉尘，二氧化硫，氟化氢，氯化氢，氮氧化物，水蒸气，亚硫酸，硫酸等复杂的组分，并且酸碱交替，干湿交替，腐蚀与磨损并存，脱硫设备必须承受多种多样的物理，化学，温度和机械负荷，特别是其中新生的亚硫酸，硫酸，氢氟酸，盐酸是导致设备腐蚀的主体。在此过程中有三个部位最容易受到腐蚀：1. 骤冷塔 2. 洗涤器 3. 烟囱

作为一个提供高性能特种防腐蚀树脂的厂家，上海富晨化工有限公司多年来与该行业中的许多厂家建交了良好的合作机制，积极在行业中推广高性能耐腐

蚀非金属材料，使困扰一些厂家多时的腐蚀问题得以解决，确保了装置的长周期运转，因此，本文结合多年的成功应用经验和部分典型案例，对一些高性能耐腐蚀树脂及其相关产品在废弃物焚烧装置中的应用加以总结。

2. 骤冷塔

2.1 骤冷塔的工作环境

从垃圾焚烧中产生的气体在排放前必须予以净化，此净化过程通常先将正在冷却的热气体导入骤冷塔，在这里用水喷洒以使热气体的温度迅速下降。烟气进口温度一般在 220℃ 左右，最高时达到 300℃ 左右。烟气从骤冷塔出来时温度下降到 40~70℃，进入洗涤器进行冲洗操作。

在此过程中，烟气的温度降副较大，骤冷塔承受了很大的热冲击。而烟气中含有的大量腐蚀性物质，在温度降低后具有极强的腐蚀性。所以对制造骤冷塔的材料就有较高的要求：耐腐蚀、耐热、耐热冲击。橡胶衬里防腐蚀可以，但是承受不了这么高的热冲击，包括在 FGD 系统中垃圾处理系统中，一般使用温度变化范围都超过 100℃。就是用耐热镍合金（镍含量大于 50%）来制作，也不能使用很长时间。国外做过此类实验，用耐热镍合金做的骤冷塔在使用 6000h 后 5mm 厚的镍合金板已被腐蚀到只剩 2mm。衬砖曾经是一种传统的材料，但是要求不能有砖脱落，因此实际使用时很难找到一种能把砖和容器很好黏结起来的胶泥，另外衬砖价格相对来说也贵。所以过去碰到此类问题时，一般厂家会选用钛合金来做，使用效果好，但价格过于昂贵。随着有机类新材料的不断推出，人们越来越希望能有一种新材料以较低的价格在此领域来取代钛合金，满足人们的使用要求。上海富晨公司作为专业的高性能防腐蚀树脂的生产厂家，一直致力于此类材料的开发，我们曾经用标准的酚醛环氧乙烯基做过试验，在试验过程中发现标准型的酚醛环氧乙烯基树脂耐热性能还达不到要求，要使玻璃钢制作的骤冷塔得到成功的应用，必须提高树脂的耐热性能。经过几年的努力，成功推出了一种新材料：高交联密度的环氧乙烯基树脂 FUCHEM898，此树脂是采用高环氧值、多官能的酚醛环氧树脂与甲基丙烯酸反应而成，有很好的耐热性能（ $T_g=190^{\circ}\text{C}$ ， $\text{HDT}=155^{\circ}\text{C}$ ），此产品的 HDT 高出标准的酚醛环氧乙烯基酯树脂（如 890 树脂等）20-30℃，实际使用时长期温度可达到 230℃，瞬间可承受的气相高温接近 300℃，断裂延伸率达到 2.5%，可使其复合材料经得住骤冷塔中由热冲击引起的冲击。主

要用于存在溶剂、氧化性介质和高温烟等殊耐腐蚀性环境，玻璃钢在高温条件下树脂具有高的强度保留率。特殊的化学结构赋予了该树脂独特的理化特性。我们对此树脂的耐高温性能做了测试，结果见下表：

表 1 连续高温下的 898 树脂玻璃钢弯曲强度保留率

温 度	弯曲强度保留率			
	7 天	90 天	180 天	365 天
200℃	103%	83%	72%	63%
175℃	100%	101%	87%	76%
150℃	102%	97%	95%	86%

注：表 1 中的数据表示经连续高温放置后的弯曲强度保留率，以 25℃ 下的弯曲强度为 100%。

采用此树脂制作的整体玻璃钢骤冷塔，造价只有钛合金的 1/3 左右，可以很好的满足使用条件，现在正得到越来越广泛的应用。

2. 2 整体玻璃钢骤冷塔的特点

玻璃钢是发展较早、应用广泛的一种复合材料，具有十分显著的性能特点，与金属材料或其他无机材料相比，它重量轻、比强度高、电绝缘、耐瞬时超高温、传热慢、隔音、防水、易着色、能透过电磁波，是一种兼具功能和结构特性的新型材料，玻璃钢骤冷塔较其他材料制成的骤冷塔更适用。因为其相对具有以下优点：

玻璃钢能提供更宽范围的耐腐蚀性能；

由于玻璃钢传热慢，保温性好，在需要保温的场合，玻璃钢设备可以不需要隔热层；

玻璃钢的材料成本相对要低；

使用寿命更长；

玻璃钢比重小，使得其更易运输，也意味着支撑他们的钢材更少。所以其综合安装费用更低。

2. 3 整体玻璃钢骤冷塔的铺层设计

为了使玻璃钢设备达到最好的抗高温和耐热冲击性能，玻璃钢的铺层设计显得尤为重要，一般此类设计建立在两个原则上：一、气体的热容量低；二、玻

玻璃钢是不导热的，换句话说，即使气体本身是极热的，但它不能传导足够的热量给玻璃钢，使其整个层板均达到与此气体相同的温度。造成层间热膨胀不同而产生层间应力的聚集。其次这些气体通过急冷部位时实质上通常是湍流的，此湍流与复合材料的导热性能有关，可引起塔壁的某些区域加热到比其他地方更高的温度。此温差将导致热膨胀的不同，在层板壁中引起应力的聚集。为了克服此增强的应力，必须改善层板的导热性，所以在设计中把导热性能良好的碳纤维和石墨粉复合到玻璃钢层板中。

内衬层制作时，应先用薄的碳纤维做增强层，其功能是要确保温度均匀分布在容器表面，消除层板壁上应力的加强。接下来用短切毡做，其树脂中已加入15-20%的石墨填料，目的是使热流均匀的从内表面通过，消除层间的应力增强。为实验此热屏蔽的效果，我们将层板加热到220度，然后用室温的水管喷射，发现没有碳纤维和石墨的层板发生分层，而含有碳纤维和石墨层交复结构的FRP则未出现分层。

此结构层的厚度由进入塔器的气体的特性决定，一般是在3-5mm之间，制作时应严格控制纤维的含量以获得均匀的层板。

2. 4 应用

在一海滨城市的垃圾焚烧厂中，整体玻璃钢制作的骤冷塔已经使用将近三年，使用情况良好。

3. 洗涤器

3. 1 洗涤器工作环境

洗涤器是湿法烟气脱除有害成分的关键设备。洗涤系统内部环境十分复杂，固体、液体和气体互相混杂，临界温度起伏波动，化学反应交错进行，在废弃物的有害物含量，湿度，ph，露点温度，气速和沉积腐蚀等因素的影响下，尤其是反应产物乳液对设备腐蚀性很大，特别是高浓度的液态氯化物的存在可使低ph值乳液的腐蚀性大大增强，系统各部件会严重腐蚀，其中设备的局部腐蚀是主要的形式。由于洗涤器的工作原理是向烟气喷射碱液，对洗涤器的内壁冲刷很严重。另外由于水蒸气的渗透作用对防腐材料的要求又提出了更高的要求。以前除金属钛材外，大部分金属材料和非金属材料在这种环境下使用寿命都达不到一年。研究选择合适的耐腐蚀材质是各国长期努力的目标，乙烯基酯树脂鳞片胶泥(vinyl

ester glass flake mortar) 引起国内外用户广泛注意的是由于其适用性, 如上海富晨化工有限公司引进和发展的 VEGF 高度耐蚀鳞片胶泥, 由于其造价低、耐高温、耐腐蚀的特点, 在国内的众多项目中得到了广泛的应用。当前碳钢内衬 VEGF 鳞片胶泥这一结构已成为首选的洗涤器防腐结构。我们首先对 VEGF 鳞片胶泥的特点做一个简单的介绍。

3. 2 VEGF 鳞片胶泥的特点介绍

VEGF 鳞片胶泥就是以高交联环氧乙烯基树脂为主要成膜物质, 加入玻璃鳞片及其它辅材配置而成的一种新材料。此材料具有良好的抗渗透性、耐磨性、耐热冲击性能和很好的工艺性, 具体原因分析如下:

1》 VEGF 鳞片胶泥具有较强的抗渗透性是与它的物料组成有关, 一般情况型的玻璃鳞片在树脂连续相中呈平行重叠排列, 从而形成致密的防渗层结构。如图 3.1 所示, 腐蚀介质在固化后的胶泥中的渗透必须经过无数条曲折的途径, 因此在一定厚度的耐腐蚀层中, 腐蚀渗透的距离得到了延长, 客观上相当于有效地增加了防腐层的厚度。同时, 在无玻璃鳞片增强情况下, 树脂基体连续相中会存在大量的所谓的“缺陷”, 如微孔、气泡、微缝等, 这些缺陷的存在会加速或加快腐蚀介质的渗透速度, 因为一旦介质渗透到这些缺陷中, 渗透的速度在得到提高的同时, 接触具有腐蚀性的介质的基体连续相的面积也随之会加大, 从而更加快了物理渗透和化学腐蚀过程, 而在 VEGF 玻璃鳞片胶泥中, 由于平行排列的玻璃鳞片能够有效的分割基体树脂连续相中的这些“缺陷”, 从而能够有效的抑制腐蚀介质的渗透速度。

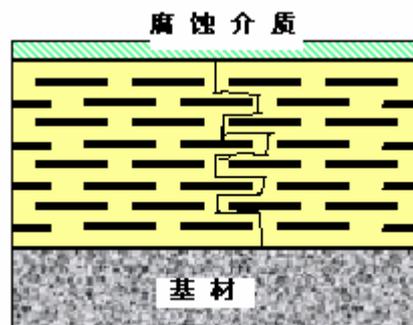


图 1 VEGF 鳞片胶泥示意图

2》 VEGF 鳞片胶泥的耐磨性好是因为 VEGF 鳞片胶泥在固化后的硬度较高, 比普通醇酸漆高 2-3 倍, 如 VEGF 鳞片胶泥的耐磨性为 120mg (CS-17W-500 g

情况下), 而受外机械损伤时, VEGF 鳞片胶泥的破坏是局部的, 其扩散趋势小, 易于修复。

3》VEGF 鳞片涂料耐热冲击是因为涂层中含有许多玻璃鳞片, 因此消除了涂层与钢铁之间的线膨胀系数的差别, VEGF 鳞片胶泥涂层的线膨胀为 $11.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, 钢铁的线膨胀系数为 $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, 两者之间比较相近, 使 VEGF 鳞片胶泥适合于温度交变的重腐蚀环境。我们进行了耐热冲击性能试验, 即把涂有 VEGF 胶泥的钢板交变放置在 100°C 沸水和 0°C 的冰水各 1 小时, 经 100 次交变试验后未能有异常现象出现。

4》目前国内外大部分厂家生产的高温鳞片胶泥都是使用标准的酚醛环氧乙烯基树脂为主要成膜物, 使用温度一般不能超过 180°C (如 890) 等, 而实际使用过程中, 设备的工作温度往往会超过 180°C , 比如我司设计施工的盐城垃圾焚烧发电厂项目的长期使用温度为 195°C , 采用标准的酚醛环氧乙烯基树脂会因为耐温达不到要求而造成树脂分子链不断断裂, 强度降低迅速在很小的外力作用下就会脱落, 造成防腐失效。而使用高交联的 898 制作的胶泥时可以达到很好的使用效果。在弯角或形状突变处适当增加厚度, 或同 FRP 复合使用用来增加强度分散应力。

3. 3 VEGF 鳞片胶泥的施工方法 (基层为碳钢):

1》先将表面除油去污, 之后再行除锈, 除锈等级应满足不低于 Sa2.0 或 St3 标准。在锈面清理干洁后, 用 VEGF 树脂打底, 待干后施工。

2》用手工泥刀刮钹成 1-2mm (每道) 厚的 VEGF 胶泥层, 数小时后即硬化, 再按设计要求施工至规定厚度。一般在每涂 1mm 厚度时进行检测, 以确认涂层是否有针孔及其它瑕疵。

3》用 VEGF 树脂罩面一至二道。

3. 4 应用: 在苏北一垃圾焚烧发电厂, 碳钢内衬 VEGF 鳞片胶泥的洗涤器虽然环境腐蚀很大, 工作温度也很高, 使用情况良好。

4. 烟囱

洗涤后的烟气, 通过烟囱直接排放。烟气虽然经过处理, 排放时仍含有腐蚀性介质, 由于洗涤后的烟气温度较低, 在低于酸的露点温度时, 容易形成由硫酸, 盐酸, HF 组成的混合冷凝酸, 对烟囱内壁造成严重的腐蚀, 这种酸性混合凝液

具有极强的腐蚀性，即使是合金钢也要被腐蚀。如何解决烟囱内壁的腐蚀问题，以维持装置长时间的连续运行，在过去很长一段时间内都是令众多厂家无法解决的一个难题。随着高交联的环氧乙烯基树脂 898 及其为主要成膜物质的 VEGF 鳞片胶泥的推出，这些问题已得到了很好的解决。

4. 1 烟囱的制法

烟囱的制法一般有两种：1》碳钢内衬 VEGF 鳞片胶泥

2.》整体玻璃钢制作

上述两种具体制法我们在前面已经介绍过，在此主要讲烟囱用这两种方法施工时的注意事项。第一种制法与洗涤器的制法基本相同，适用于较大的烟囱。施工过程中需要注意的是鳞片胶泥要包覆烟囱顶部的边缘，因为烟囱的顶部有一定的正压的存在，使得这部分的腐蚀较严重，成为烟囱较为薄弱的环节，若鳞片胶泥包覆烟囱顶部，将不存在这种腐蚀危险。另外由于迎风面（筒体 0-10m）要抵挡大量粉尘的磨损和可能出现的温差变化，因此要进行 FRP 和耐磨特别加强处理。

第二种制法即整体玻璃钢烟囱在制作时，一般先制成 12 米一段的桶体，然后再安装。由于玻璃钢的线膨胀系数较小，所以对于高度比较低的烟囱在安装时可以不设膨胀节。对于高度比较高的烟囱一般选用橡胶类的膨胀节。

4. 2 玻璃钢烟囱的优点

1》整体缠绕的玻璃钢（FRP）内侧极为光华，表面粗糙可低到 0.0008，其水流摩擦阻损失系数 f 为 0.000915，较钢管（ $f=0.00179$ ）能显著减少沿程的流体压力损失，提高输送能力为 20%。

2》玻璃钢的导热系数只有钢材的 0.5%，在一定范围内可以取消隔热和保温层。

3》在烟囱的实际运行中，温度若低于 80 度，烟气的腐蚀性是较重的，因为存在腐蚀性介质的“露点”问题，而在高于 100 度的烟气腐蚀中，烟气的腐蚀性较轻；而随着现代防腐蚀树脂的理化特性的发展，树脂玻璃钢耐烟气的腐蚀性、高温作用上没有任何技术障碍。

4》采用整体缠绕制作的 FRP 烟囱的自持高度可以达到 40m 左右，因为其抗压强度 $\geq 80\text{Mpa}$ ，所以 FRP 烟囱不存在力学强度上的技术问题。

4. 3 玻璃钢烟囱与其他防腐结构的经济比较

整体玻璃钢烟囱在具有同等防腐效果的前提下，还具有很大的经济优势，以下是我们以 240m 的烟囱做的一个采用不同材料的烟囱的经济性比较

表：4.1 烟囱材料典型造价

结构	价 格：万元	备注
钢-钛复合	2100	
钢-不锈钢复合	1500	
钢-泡沫玻璃	1750	
耐酸胶泥-耐酸砖	600	不含人工费、施工费、保温费
玻璃钢	1250	

从上表中材料价格的比较我们可以得出以下结论：

- 1》整体玻璃钢烟囱的造价只有钢-钛复合结构的 50-60%左右；
- 2》整体玻璃钢烟囱的造价相当于碳钢+树脂涂层的造价。

4. 3 烟囱应用：在福州一知名环保集团的垃圾焚烧装置中，通过烟囱排放的烟气温度通常在 150-180℃，但当某些非正常操作时，气体温度持续 15-30 分钟达到 230℃，该工厂原来通常使用不锈钢结构的烟囱，使用寿命不超过 12 个月，后来他们尝试使用全玻璃钢结构，树脂选用我司的 FUCHEM898，使用三年来情况良好。

5. 总结

在烟气处理过程中，还有一些其他的部位受腐蚀也比较严重，如输送烟气的管道。现在采用标准型环氧乙烯基树脂制作的大口径管道在这些装置上已经得到大量的应用。总之在废弃物的焚烧过程中，烟气处理所涉及的骤冷塔、洗涤塔、烟囱和管道等装置的制造和防腐结构的处理必须根据其介质环境进行合理的选材以及结构设计。随着高性能防腐蚀树脂的不断开发和应用，以树脂为基体材料的复合材料将以各种形式用于这些烟气处理设备的制造中。下图 5-1 是废气物处理的一个典型图释。

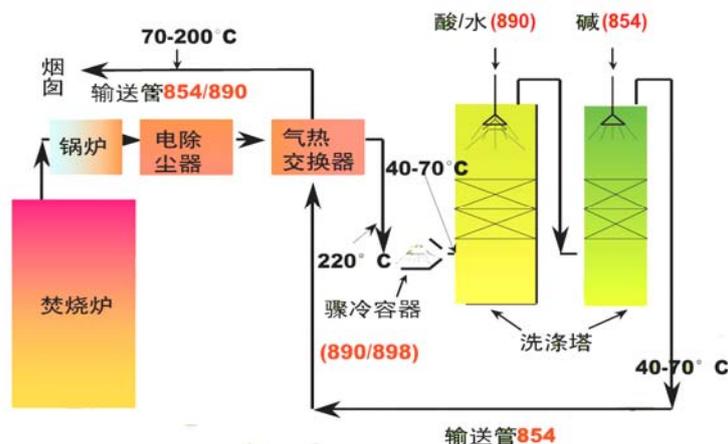


图 5-1

6. 展望

随着国家对环保的日益重视，我国已制定了一系列环保法规、标准、规范废弃物处理产业。废弃物处理产业应积极开拓多种融资渠道，解决资金短缺问题；运用现代先进的、多元化的经营方式与经营手段，提高自身生存能力和盈利能力，在创造社会效益、环境效益的同时产生巨大的经济效益，缩短投资回报周期、提高投资回报率。使垃圾处理产业向健康的可持续发展的方向发展。我司也会加大研发速度，以满足垃圾焚烧装置（WI）和污泥焚烧装置（SI）的更多防腐需要。

参考文献：

1. 王天堂、陆士平等，酚醛环氧乙烯基酯树脂的性能及在耐高温强腐蚀场合中的应用，全面腐蚀控制，2001年05期（4）。
2. 王天堂、陆士平等，VEGF鳞片胶泥在烟气脱硫装置中的应用，中国环保产业，2002年Z1期。
3. 沈开猷. 不饱和聚酯树脂及其应用. 北京:化学工业出版社, 1996.
4. 化学工业部化工机械研究院主编，《腐蚀与防护手册》《化学生产装置的腐蚀与防护》，化学工业出版社出版，1991。

Abstract: in this paper some anti-corrosion theory is discussed in flue utilities including quench, scrubber and stack, as well related anti-corrosion technologies are covered including resin choice and its



con-structure

Keywords: wastes; burn; corrosion; quench; scrubber; stack